

炉捶之间

先秦两汉时期
热锻薄壁青铜器研究

李洋 著

上海古籍出版社

炉捶之间

先秦两汉时期
热锻薄壁青铜器研究

李洋
著

上海古籍出版社

图书在版编目(CIP)数据

炉捶之间：先秦两汉时期热锻薄壁青铜器研究 / 李洋著. —上海：上海古籍出版社，2017.10

ISBN 978-7-5325-8580-9

I. ①炉… II. ①李… III. ①青铜器(考古)—研究—中国—先秦时代 ②青铜器(考古)—研究—中国—汉代
IV. ①K876.414

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第199601号

炉捶之间

——先秦两汉时期热锻薄壁青铜器研究

李 洋 著

上海古籍出版社出版发行

(上海瑞金二路272号 邮政编码200020)

(1) 网址：www.guji.com.cn

(2) E-mail：guji1@guji.com.cn

(3) 易文网网址：www.ewen.co

启东市人民印刷有限公司印刷

开本890×1240 1/32 印张8.125 插页2 字数196,000

2017年11月第1版 2017年11月第1次印刷

印数：1—1,800

ISBN 978-7-5325-8580-9

K·2368 定价：58.00元

如有质量问题，请与承印公司联系

本书为武汉大学自主科研项目（人文社会科学）研究成果，得到“中央高校基本科研业务费专项资金”资助以及中国博士后科学基金资助。

序

青铜器既是研究中国古代历史的重要资料，又是研究中国科技史的关键对象。不同学科背景的研究者都能从青铜器研究中获得一些有用的信息，如何综合利用这些信息解决青铜器研究中的重点、难点课题是一项具有创新性和挑战性的工作。

在先秦两汉时期，青铜器多采用铸造工艺，因此有一类采用热锻、淬火、冷加工等其他工艺，且器壁较薄的青铜器引起了科技考古学者的关注，本书作者也是其中一员。在参考前人研究工作的基础上，本书提出将这类青铜器命名为“热锻薄壁青铜器”，并对其进行了界定和详细论述，应该说这还只是对热锻薄壁青铜器研究具有开创性的初步工作，当然随着研究的继续深入，学术界对其认识必定会更全面。

不同于以往专注于热锻薄壁青铜器制作工艺的研究，本书不但立足于科技考古数据的收集，还重视考古学信息的整理。以热锻薄壁青铜器的制作工艺为线索，对其主要类型、性质、用途、使用者身份、时空分布等多方面的特征进行了系统研究，并将观察到的现象置于中国古代社会发展的重要变革期——先秦两汉时期这一大的历史背景下进行解析。本书在以下方面获得了新的认识，提出了新的观点：

(1) 先秦两汉时期存在两套相对独立的热锻薄壁青铜器技术传统,即低锡热锻薄壁青铜器技术传统和高锡热锻薄壁青铜器技术传统。并且将冷加工、热处理、刻划、锤印、篆刻、连接、修补等工艺应用于一些热锻薄壁青铜器的制作中。

(2) 先秦两汉时期,热锻薄壁青铜器的使用特点不同于这一时期的铸造青铜器,如器物类型有限且多集中出现于某一特定时空内,并偏重于实用功能,而且使用者的身份等级往往较高。

(3) 先秦两汉时期热锻薄壁青铜器从有限使用到流行进而普及化的发展历程,还伴随着工艺从一元(低锡)技术传统到二元(低锡和高锡)技术传统的转变过程,造成这些发展的主要动因可能是掌握这一青铜技术传统的特定人群所面临的生存需求。

这些认识勾勒出了先秦两汉时期热锻薄壁青铜器及其工艺体系的基本轮廓,丰富了这一时期青铜器的研究内容,也体现出多学科交叉与融合的优势。随之而来的是一系列新的学术课题,可以预见这一领域研究在未来还有很大的发展空间。

当然,本书在一些具体结论上尚有值得商榷或改进之处,如在“热锻薄壁青铜器”的定名与界定上仍有完善的空间,也需要获得学术界更广泛的认可;不同时空下热锻薄壁青铜器的工艺细节和技术特征的观察如果能更深入,或可揭示出其工艺体系更清晰的发展脉络;有关工艺起源、技术传播、发展动因等方面的讨论和观点,相对于发现数量和文献记载显得有些超前,需要更多的理论和材料支撑。此外,本书及以往研究中关于青铜热锻温度等工艺参数大多引自一篇发表于1939年的论文(Chadwick, R.),这反映出青铜器科技考古领域的一些基础实验数据比较匮乏,在今后的研究中如能利用更先进、更准确的实验测试仪器进行模拟实验,应能补齐这一短板。

本书是李洋博士近年来关于热锻薄壁青铜器研究工作的一个

阶段性成果,充分体现他重视多学科交叉与融合,重视多源数据的整合和梳理等较前沿的研究理念。在今后的工作中,希望他能够继续发挥多学科交叉的学科背景优势,在问题意识的引导下,利用现代材料表征技术,解决考古学、科技史、历史学等学科共同关注的重要学术问题,在青铜器科技考古领域取得新的成果。

潘春旭

2017年9月6日

目 录

序	001
第一章 绪论	001
第一节 概论、选题的意义及重要性	001
第二节 国内外研究现状与进展综述	004
第三节 研究内容、思路与方法	010
第四节 术语的界定与说明	011
第二章 标本来源与测试方法	013
第一节 标本来源	013
第二节 检测标本的制备	016
第三节 主要测试仪器与设备	016
第三章 西周及更早热锻薄壁青铜器的发现	017
第一节 商代以前热锻薄壁青铜器的发现	017
第二节 商代热锻薄壁青铜器的发现	018
第三节 西周时期热锻薄壁青铜器的发现	027
第四章 东周时期热锻薄壁青铜器的发现	042
第一节 春秋时期热锻薄壁青铜器的发现	042
第二节 战国时期热锻薄壁青铜器的发现	068
第五章 秦汉时期热锻薄壁青铜器的发现	117
第一节 秦代热锻薄壁青铜器的发现	117

118	第二节	两汉时期热锻薄壁青铜器的发现
155	第六章	热锻薄壁青铜器的制作工艺
155	第一节	热锻薄壁青铜器的材料学分类
160	第二节	热锻薄壁青铜器的工艺特点
166	第三节	其他相关问题的探讨
180	第七章	先秦两汉时期热锻薄壁青铜器的使用
180	第一节	先秦两汉时期热锻薄壁青铜器的主要类型
190	第二节	先秦两汉时期热锻薄壁青铜器的性质
196	第三节	先秦两汉时期热锻薄壁青铜器的使用者
204	第八章	先秦两汉时期热锻薄壁青铜器的时空分布及其背景
204	第一节	先秦两汉时期热锻薄壁青铜器的空间分布
210	第二节	先秦两汉时期热锻薄壁青铜器的发展历程
212	第三节	先秦两汉时期热锻薄壁青铜器发展动因初探
216	第九章	余论
216	第一节	早期热锻薄壁青铜器的起源及其与周边地区的文化交流
221	第二节	汉代以后热锻薄壁青铜器的发展
223	第三节	相关研究理论的探讨
226	附表	经科学检测的先秦两汉时期热锻薄壁青铜器信息表
249	后记	

第一章

绪 论

第一节 概论、选题的意义及重要性

众所周知,铸造是中国古代制作青铜器的主要成型工艺^①,以往对于中国古代青铜工艺研究也多集中于此。近年来,有一类特别的青铜器引起国内学术界的关注。这类器物的壁很薄,一般厚0.5—1.5毫米,甚至更薄。类似的器物或残片在多地不同时期的墓葬中均有发现。从事科技考古的研究者,对一些标本进行的科学检测表明,这些器物大多采用了热锻打成型工艺。其中,含锡量高于18 wt%的器物在热锻打之后往往还经过了淬火或退火等热处理,类似的工艺也见于在印度^②、

① Chase, T.. "Chinese bronzes: casting, finishing, patination and corrosion". In: Scott, D.A., Podany, J., Considine, B., eds. *Ancient and historic metals*. California, USA: The Getty Conservation Institute, 1994, pp. 63-74.

② a. Srinivasan, S., Glover, I. C.. "Wrought and quenched, and cast high-tin bronzes in Kerala state, India". *Journal of Historical Metallurgy*, 1995, 29.

b. Srinivasan, S.. "Present and past of south Indian crafts for making mirrors, lamps, bells, vessels, cymbals and gongs; links with prehistoric high-tin bronzes from Mohenjodaro, Taxila, South Indian Megaliths and later finds". *South Asian Studies*, 1997, 13. (转下页)

泰国^①、伊朗^②、菲律宾^③、韩国^④等地出土的类似青铜器中。关于这类器物的名称,有研究者称之为“薄壁铜器”^⑤,也有研究者称之为“热锻青铜器”^⑥,但大多数研究者没有给予其专门的名称。为便于描述,本书根据这类器物的器壁厚度和工艺特点,将其定名为“热锻薄壁青铜器”,关于这一术语的界定详见本章第四节。

以目前的资料看,中国最早出现的热锻薄壁青铜器为出土于青海贵南尕马台墓地的铜泡^⑦,年代约为齐家文化晚期^⑧。西周中期以前的热锻薄壁青铜器发现十分有限,多发现于西北地区和中

(接上页)

c. Srinivasan, S.. "The use of tin and bronze in prehistoric southern Indian metallurgy". *JOM*, 1998, 50.

d. Datta, P. K., Chattopadhyay, P. K., Ray, A.. "New evidence for high-tin bronze in ancient Bengal". *SAS Bulletin*, 2007, 30.

① Bennett, A., Glover, I. C.. "Decorated high-tin bronzes from Thailand's prehistory". In: Glover, I., eds. *Southeast Asian Archaeology 1990*. Hull University, Centre for Southeast Asian Studies, 1992, pp. 187-208.

② Melikian-Chirvani, A. S.. "The white bronzes of early Islamic Iran". *Metropolitan Museum Journal*, 1974, 9.

③ Goodway, M., Conklin, H. C.. "Quenched high tin bronzes from the Philippines". *Archeomaterials*, 1987, 2.

④ Park, J. S., Park, C. W., Lee, K. J.. "Implication of peritectic composition in historical high-tin bronze metallurgy". *Materials Characterization*, 2009, 60.

⑤ 陈坤龙、梅建军、岳连建:《陕西西安出土的两件薄壁铜容器的科学分析》,见陕西省考古研究所:《西安北郊秦墓》,西安:三秦出版社,2006年,第378—384页。

⑥ 秦颖、李世彩、晏德付等:《湖北及安徽出土东周至秦汉时期热锻青铜容器的科学分析》,《文物》2015年第7期。

⑦ a. 青海省文物考古研究所,北京大学考古文博学院:《贵南尕马台》,北京:科学出版社,2016年,第131—132页。

b. 徐建梅、梅建军、孙淑云等:《青海贵南尕马台墓地出土铜器的初步科学分析》,见青海省文物考古研究所、北京大学考古文博学院:《贵南尕马台》,北京:科学出版社,2016年,第178—186页。

⑧ 近年来,有研究者认为尕马台遗存晚于齐家文化,为齐家文化向卡约文化的过渡阶段。见陈小二:《河西走廊及其邻近地区早期青铜时代遗存研究——以齐家、四坝文化为中心》,长春:吉林大学博士学位论文,2012年,第101—102页。

原地区。两周之际,热锻薄壁青铜器开始较集中地出现于中原地区。春秋中期开始,热锻薄壁青铜器发现数量进一步增多,器物类型逐渐丰富,并且存在两套完全不同的热锻薄壁青铜器技术传统,即此前已有的热锻薄壁低锡青铜技术传统和新出现的热锻薄壁高锡青铜技术传统,这两套传统并存状况一直延续至汉代。汉代以后,公开报道的资料均为热锻薄壁高锡青铜器。直至现代,在广西、北京、湖北、山西等地区,以铜锣等响乐器为代表的热锻薄壁高锡青铜器及其传统制作工艺仍得以保留^①。

很显然,先秦两汉时期是中国古代热锻薄壁青铜器发现数量最多的时期。尤其东周至西汉时期,是热锻薄壁青铜器发现数量从少到多的重要时期,也是热锻薄壁青铜技术传统从一元(低锡)体系向二元(低锡和高锡)体系转变的关键时期。东周至西汉时期还是中国古代青铜技术传统向铁器技术传统转变的主要时期,这是学术界已达成的共识^②。以往中国古代青铜器研究多以青铜礼器的兴衰或铸造青铜技术的发展为依据,将东周时期视为其研究的最后阶段,不太重视东周时期及以后青铜技术发展的新动向。以先秦两汉时期热锻薄壁青铜器为对象的专题研究,一方面可以丰富中国古代青铜器的研究内容;另一方面也为学术界考察青铜

① a. 孙淑云、罗坤馨、王克智:《中国传统响铜器的制作工艺》,《中国科技史料》1991年第4期。

b. 何堂坤、李德银、李恒贤:《宋代铎钹磬的科学分析》,《考古》2009年第7期。

c. 段岭南:《长子县西南呈村响铜乐器制作技艺与传承》,广州:中山大学硕士学位论文论文,2011年。

d. 关雪敏:《广西博白响铜器制作工艺研究》,南宁:广西民族大学硕士学位论文,2014年。

② a. 华觉明:《中国古代金属技术——铜和铁造就的文明》,郑州:大象出版社,1999年,第294—389页。

b. 白云翔:《先秦两汉铁器的考古学研究》,北京:科学出版社,2005年,第47页。

c. 谭德睿、孙淑云:《中国传统工艺全集——金属技术》,郑州:大象出版社,2007年,第15页。

技术在铁器技术传统产生后的发展与流变提供了新的视角。此外,从更大的历史图景下审视,先秦两汉时期在中国古代社会发展历程中的重要性,也决定了这一课题在考古学研究中的重要地位。

《天工开物》对于热锻薄壁高锡青铜器的生产过程有较为详细的记载,但其成书年代较晚,更早的文献中关于热锻薄壁青铜器及其生产的记载甚少。而且,热锻薄壁青铜器研究涉及工艺技术,因此,为获得较准确的信息,利用科技考古手段对其制作工艺进行研究是必要的。近年来,多位研究者的工作揭开了这类器物制作工艺的神秘面纱,为我们进行系统研究奠定了坚实的基础。经过收集和整理,经科学检测的先秦两汉时期热锻薄壁青铜器约160件,再将与之共出的同类薄壁青铜器,以及表面有热锻加工痕迹的薄壁青铜器计算在内,这已是一批相当丰富的实物资料。正因如此,对热锻薄壁青铜器的工艺特点、主要类型、性质用途、使用者身份、时空分布、发展历程及其发展动因等问题进行系统研究,不仅成为可能,更是一项亟需进行的工作。

第二节 国内外研究现状与进展综述

由于热锻薄壁青铜器研究需要借助科技考古手段,早年金石学著录中或许收录了个别热锻薄壁青铜器,但无法进行专门研究。也正是因为科学检测在热锻薄壁青铜器研究中的重要性,掌握了科学检测手段的国外研究者很早就涉及了中国古代热锻薄壁青铜器研究。19世纪初,法国人Darcet开始研究中国的铜锣、铜钹等热锻薄壁青铜器,在对7件铜锣和22件铜钹的化学成分测试后发现它们含有22 wt%的锡,认为这些高锡青铜器不太可能是铸造而成,因为铸造的高锡青铜器太脆,从而推测其制作工艺为热锻后又经过淬火处理,同时他还注意到《天工开物》中未提起淬火工艺应用于这类铜锣的制造中,并认为可能是当时的工匠

欺骗了作者^①。此后,Champion P.在1869年出版的论文中记载了自己在“中国作坊”中的亲眼所见,当时的铜锣制作工艺确实是先将铸造好的毛坯热锻成型,再重新加热至通红,然后在冷水中淬火,最后还要经过轻微敲打达到调音、定音的效果,他指出即便经过了淬火处理,铜锣仍很脆,因此铜锣正确的敲击方式是不敲中间而敲外圈,他还对当时铜锣的成分进行了检测,其含锡量也达到了17 wt%^②。一个多世纪后,Goodway M.等人^③对中国古代不同类型铜锣的科学检测结果进一步证实了这些认识。

国内学术界有关热锻薄壁青铜器的研究肇始于20世纪80年代,何堂坤对滇池地区几件青铜器进行科学检测后发现出土于云南江川李家山墓地的2件臂甲为热锻而成,壁厚1.2毫米,年代约为战国末期至西汉早期^④。此后,热锻薄壁青铜器被较多地发现,相关科学检测数据见于一些出土青铜器的科学检测报告,其中涉及先秦两汉时期热锻薄壁青铜器研究的有:青海贵南尕马台墓地^⑤、河南安阳殷墟花园庄东地M54^⑥、成都金沙遗址^⑦、甘肃崇信

① a. Biot J. B., *Traité de physique expérimentale et mathématique*. Paris, 1816, p515.

b. Darcet. "Observations de M. Darcet sur la Note précédente". *Annales de Chimie et de Physique*, 1933, 54, pp. 331-335.

② Champion P. in: Julien S., *Industries Anciennes et Modernes de l'Empire Chinois*. Paris, 1869, pp. 66-74.

③ Goodway M., "High-tin bronze Gong making". *JOM*, 1988, 40(4).

④ 何堂坤:《滇池地区几件青铜器的科学分析》,《考古》1985年第4期。

⑤ 徐建伟、梅建军、孙淑云等:《青海贵南尕马台墓地出土铜器的初步科学分析》,见青海省文物考古研究所、北京大学考古文博学院:《贵南尕马台》,北京:科学出版社,2016年,第178—186页。

⑥ 刘煜、贾莹、成小林等:《M54出土青铜器的金相分析》,见中国社会科学院考古研究所:《安阳殷墟花园庄东地商代墓葬》,北京:科学出版社,2007年,第297—301页。

⑦ a. 肖璘、杨昌军、韩汝玢:《成都金沙遗址出土金属器的实验分析与研究》,《文物》2004年第4期。

b. 魏国峰、毛振伟、秦颖等:《金沙遗址出土铜片的加工工艺研究》,《有色金属》2007年第1期。

于家湾墓地^①、陕西宝鸡石鼓山M1^②、陕西韩城梁带村芮国墓地M27^③、甘肃礼县圆顶山秦国墓地^④、云南曲靖八塔台墓地^⑤、湖北襄阳余岗墓地^⑥、安徽蚌埠双墩春秋M1^⑦、湖北郢县乔家院墓地^⑧、河南新郑郑韩故城热电厂墓地^⑨、四川宣汉罗家坝墓地^⑩、内蒙古林西井沟子墓地^⑪、云南弥渡合家山青铜器窖藏^⑫、云南楚雄万家坝

① 张治国、马清林：《崇信于家湾周墓出土青铜器分析研究》，见甘肃省文物考古研究所：《崇信于家湾周墓》，北京：文物出版社，2009年，第180—195页。

② 陈坤龙、梅建军、邵安定：《陕西宝鸡石鼓山新出西周铜甲的初步科学分析》，《文物》2015年第4期。

③ 陈坤龙、梅建军、孙秉君：《梁带村两周墓地出土青铜器初步检测分析》，《考古与文物》2009年第9期。

④ a. 潜伟：《甘肃礼县大堡子秦公墓几件青铜器的显微分析》，《考古与文物》2002年先秦增刊。

b. 邵安定、孙淑云、梅建军等：《甘肃礼县大堡子秦公墓出土金属器的科学分析与研究》，《文物》2015年第10期。

⑤ a. 李晓岑、韩汝玢：《八塔台青铜时代墓葬出土金属器的分析鉴定》，见云南省文物考古研究所：《曲靖八塔台与横大路》，北京：科学出版社，2003年，第235—241页。

b. 赵凤杰、李晓岑、刘成武等：《云南曲靖八塔台墓地铜器分析》，《中原文物》2013年第1期。

⑥ 秦颖、李世彩、晏德付等：《湖北及安徽出土东周至秦汉时期热锻青铜容器的科学分析》，《文物》2015年第7期。

⑦ 秦颖、李世彩、晏德付等：《湖北及安徽出土东周至秦汉时期热锻青铜容器的科学分析》，《文物》2015年第7期。

⑧ 秦颖、李世彩、晏德付等：《湖北及安徽出土东周至秦汉时期热锻青铜容器的科学分析》，《文物》2015年第7期。

⑨ 张宏英、李秀辉、李延祥等：《郑韩故城热电厂墓地出土青铜器的初步分析》，《中国文物科学研究》2014年第1期。

⑩ 宋艳：《宣汉罗家坝出土部分青铜器的合金成分和金相组织》，见四川省文物考古研究院、达州市文物管理所、宣汉县文物管理所：《宣汉罗家坝》，北京：文物出版社，2015年，第356—368页。

⑪ 李延祥、李丽辉：《井沟子西区墓地青铜器初步研究》，见内蒙古自治区文物考古研究所、吉林大学边疆考古研究中心：《林西井沟子——晚期青铜时代墓地的发掘与综合研究》，北京：科学出版社，2010年，第331—363页。

⑫ 负雅丽、李晓岑、李庆华等：《云南省弥渡县合家山出土铜器的技术研究》，《考古与文物》2011年第5期。

墓地^①、山西定襄中霍东周墓^②、江苏高庄战国墓M7^③、河南陕县后川墓地^④、湖北荆州包山楚墓^⑤、云南昆明羊甫头墓地^⑥、贵州赫章可乐墓地^⑦、河南洛阳西郊四号墓^⑧、辽宁建昌东大杖子墓地^⑨、湖北荆州左冢^⑩、山东新泰周家庄墓地^⑪、湖南常德沅水下游楚墓^⑫、湖北丹

① 李晓岑、韩汝汾、孙淑云：《云南楚雄万家坝出土铜、锡器的分析及有关问题》，《文物》2008年第9期。

② 张登毅、李延祥、郭银堂：《山西定襄中霍墓地出土铜器的初步科学分析》，《文物保护与考古科学》2016年第1期。

③ a. 何堂坤：《刻纹铜器科学分析》，《考古》1993年第5期。

b. 孙淑云、王金潮、田建花等：《淮阴高庄战国墓出土铜器的分析研究》，《考古》2009年第2期。

④ 李敏生：《陕县东周墓出土部分铜器的成分分析》，见中国社会科学院考古研究所：《陕县东周秦汉墓》，北京：科学出版社，1994年，第222—223页。

⑤ 何堂坤：《包山楚墓金属器初步考察》，见湖北省荆沙铁路考古队：《包山楚墓》，北京：文物出版社，1991年，第417—430页。

⑥ 李晓岑、韩汝汾、杨帆：《昆明羊甫头出土金属器的初步研究》，见云南省文物考古研究所、昆明市博物馆、官渡区博物馆：《昆明羊甫头墓地》，北京：科学出版社，2005年，第996—1009页。

⑦ 赵凤杰、李晓岑、张元：《贵州可乐墓地出土铜器的技术研究》，《中国文物科学研究》2012年第3期。

⑧ 袁晓红：《洛阳东周王城四号墓出土部分青铜器的金相分析》，《文物》2011年第8期。

⑨ 王贺、柏艺萌、肖俊涛：《辽宁建昌东大杖子墓地出土薄壁铜容器的检测与分析》，《边疆考古研究》2015年第2期。

⑩ a. 罗武干、秦颖、黄凤春等：《左冢楚墓群出土金属器研究》，见湖北省文物考古研究所、荆门市博物馆、襄荆高速公路考古队：《荆门左冢楚墓》，北京：文物出版社，2006年，第242—251页。

b. 秦颖、李世彩、晏德付等：《湖北及安徽出土东周至秦汉时期热锻青铜容器的科学分析》，《文物》2015年第7期。

⑪ a. 李延祥、李建西、李秀辉等：《金属器分析》，见山东省文物考古研究所、新泰市博物馆：《新泰周家庄东周墓地》，北京：文物出版社，2014年，第490—513页。

b. 丁忠明、吴来明、刘延常：《青铜制作技术分析》，见山东省文物考古研究所、新泰市博物馆：《新泰周家庄东周墓地》，北京：文物出版社，2014年，第514—523页。

⑫ 湖南省常德市文物局、常德博物馆、鼎城区文物管理处等：《沅水下游楚墓》，北京：文物出版社，2010年，第795—804页。

江口吉家院墓地^①、湖北襄阳陈坡M10^②、重庆涪陵小田溪M9^③、湖北枣阳九连墩^④、西安北郊秦墓^⑤、安徽南陵^⑥、贵州威宁银子坛墓地^⑦、广东广州西汉南越王墓^⑧、云南江川李家山墓地^⑨、安徽潜山彭岭墓地^⑩、云南晋宁石寨山墓地^⑪、安徽天长三角圩墓地^⑫、广

① a. 戎岩、廖华军、罗武干等：《吉家院墓地出土铜器金相考察》，《咸阳师范学院学报》2013年第5期。

b. 廖华军：《吉家院墓地出土青铜器的初步研究》，北京：中国科学院研究生院硕士学位论文，2008年。

② a. 孟祥伟、孙淑云、梅建军：《湖北襄阳陈坡M10出土金属器检测报告》，见湖北省文物考古研究所、襄阳市文物考古研究所、襄阳市襄州区文物管理处：《襄阳陈坡》，北京：科学出版社，2013年，第402—415页。

b. 孟祥伟、梅建军、董亚巍等：《湖北襄阳陈坡M10出土金属器的初步科学分析》，见湖北省文物考古研究所、襄阳市文物考古研究所、襄阳市襄州区文物管理处：《襄阳陈坡》，北京：科学出版社，2013年，第416—428页。

③ 姚智辉：《晚期巴蜀青铜器技术研究及兵器斑纹工艺探讨》，北京：科学出版社，2006年。

④ 秦颖、李世彩、晏德付等：《湖北及安徽出土东周至秦汉时期热锻青铜容器的科学分析》，《文物》2015年第7期。

⑤ 陈坤龙、梅建军、岳连建：《陕西西安出土的两件薄壁铜容器的科学分析》，见陕西省考古研究所：《西安北郊秦墓》，西安：三秦出版社，2006年，第378—384页。

⑥ 贾莹、刘平生、黄允兰：《安徽南陵出土部分青铜器研究》，《文物保护与考古科学》2012年第1期。

⑦ 李晓岑、赵凤杰、李飞等：《贵州银子坛墓地出土铜锡器的初步分析》，《中国文物科学研究》2013年第2期。

⑧ 孙淑云：《西汉南越王墓出土铜器、银器及铅器鉴定报告》，见广州市文物管理委员会、中国社会科学院考古研究所、广东省博物馆：《西汉南越王墓》，北京：文物出版社，1991年，第397—410页。

⑨ a. 何堂坤：《滇池地区几件青铜器的科学分析》，《考古》1985年第4期。

b. 李晓岑、张新宁、韩汝玢等：《云南江川县李家山墓地出土金属器的分析和研究》，《考古》2008年第8期。

⑩ 秦颖、李世彩、晏德付等：《湖北及安徽出土东周至秦汉时期热锻青铜容器的科学分析》，《文物》2015年第7期。

⑪ 李晓岑、韩汝玢、蒋志龙：《云南晋宁石寨山出土金属器的分析和研究》，见云南省文物考古研究所、昆明市博物馆、晋宁县文物管理所：《晋宁石寨山——第五次发掘报告》，北京：文物出版社，2009年，第209—221页。

⑫ 晏德付、秦颖、陈茜等：《天长西汉墓出土部分金属器的研究》，见安徽省文物考古研究所：《天长三角圩墓地》，北京：科学出版社，2013年，第432—438页。